

コアボーリングによるコンクリート強度の推定

Prediction of Compressive Strength of Concrete by Using Core-boring

北海道大学大学院工学研究科 ○学生員 平田 大輔 (Daisuke HIRATA)
 北海道大学大学院工学研究科 正会員 志村 和紀 (Kazunori SIMURA)
 北海道旅客鉄道(株) 小松 徹 (Toru KOMATU)
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 佐伯 昇 (Noboru SAEKI)

1. まえがき

一般のコンクリート構造物における、圧縮強度は構造設計上最も基本的なものである。また、他の諸強度や水密性などの品質も圧縮強度と密接な関係にあり、これを把握することは構造物の基本的性能を評価する上で重要である。長期経過したコンクリート構造物はそのおかれる環境条件によって供用開始時の圧縮強度を保持していないものも少なくない。実構造物の圧縮強度を評価する場合、構造物の損傷を避けるために非破壊試験が行われるが、高い測定精度が得られない、あるいは構造物内部の強度を推定することが難しいなどの問題点がある。一方、ボーリングによりコア供試体を構造物から採取し、強度試験を行う方法は信頼性の高い手法であるが、構造物に損傷を与える上手間もかかるという問題がある。本研究は構造物の損傷を極力抑えるために小口径コアドリルを用いた掘削を行い、掘削時の測定データを基に圧縮強度を推定する手法について検討を行った。

2. 実験方法

2. 1 測定項目

ドリルでコンクリートを掘削する際の測定項目について検討する。コンクリートは建設材料として用いられる場合には均質なものと考えられる。しかし、実際にコンクリートはセメント、水、粗骨材、細骨材からなっており、コンクリートの掘削にドリルを使用する場合には、ドリルの刃とコンクリートの接する面は小さいため粗骨材の影響を無視できない。つまりドリル掘削によるコンクリート強度を推定するためには粗骨材の影響を取り除き、比較的均質な、主にモルタル部分について検討することが合理的であると考えられる。以上のことから次のパラメータを測定する。

- ① 時間 …掘削に要した時間
- ② 距離 …掘削距離(掘り進んだコンクリートの深さ)
- ③ 力 …ドリルを押し力
- ④ 電力 …ドリルを動かす電気エネルギー

ドリルがコンクリート内部の粗骨材の影響を受けている場合、研磨された骨材に刃が咬みづらくなり滑ってしまう時である。そこで時間と距離を測定することで1秒間に進む距離、つまり速度を指標とし、この値が0以下

になる場合はドリルが骨材の影響を受けていると考えた。実験においては、ドリルを押し力を一定とし、消費電力を把握するために電圧および電流を測定した。

2. 2 ボーリングにおける仕事

コア・ドリルでコンクリートを掘削する際の物理的要因としては時間、距離、力および電力消費が挙げられる。ここで、力と電力消費を一定とすれば、強度の低いコンクリートでは強度の高いものに比べ一定時間に掘り進む距離(深さ)は大きいと考えられ、コンクリートを掘削するのに要するドリルの仕事とコンクリートの圧縮強度の間には関連性があると仮定し、検討を進めることとした。また、掘削距離(深さ)に対応したコンクリート強度を評価できれば深さ方向の強度分布を知ることができ、構造物の維持補修に対して有用な情報が得られる。そこで実験方法としてドリルが供試体コンクリートに1秒間に行う仕事(J)、つまり仕事率(J/s)を調べ、同配合のコンクリートから得られる圧縮強度を供試体の圧縮強度とし、これと仕事率との関係を調べる。

$$W = F\ell + W_e - H$$

$$P = d(W)/dt = d(F\ell)/dt$$

t : 時間 (s) ℓ : 距離 (m) F : 力 (N)、

W : 掘削のための仕事 (J)

W_e : 消費電力 P : 仕事率 (J/s)

H : 熱、音などによる発散されるエネルギー

2. 3 測定器具

本研究に使用するドリルはミストドリルを改良したコアドリルで、直径9mmの刃を回転させる。動力は電気一般のAC電源で可動可能である。ドリルの刃の先端には細かな人工ダイヤモンドが埋めこまれており、これがコンクリートを掘削する。この際、コンクリートとの摩擦により刃を傷めぬよう、エアと水をドリルに送りこみ、霧状にして刃の先端より吹き出しながらコンクリートを掘る。今回の実験ではコンクリートコアを抜きながら測定を行うこととしている。そこでドリルの刃はコア抜き用のものを使用する。コア径について検討するため、直径14.5、19および27mmのコア・ドリル刃を用いた予備掘削実験の結果、14.5並びに19mmの刃では実験結果が大きく変動したため、直径27mmの刃を用いることとした。一定の条件で掘削を行い、また精度の高い測定データを得るために、ドリルは固定器具に設置す

る。固定器具の概略を図-1 に示す。ドリルを押す力にはエアシリンダーを採用した。これはエアコンプレッサーにつなぎ、圧縮した空気を利用して力を得ている。操作はコントロールボックスにより行う。固定器具にはロードセルと変位計を取り付けてあり、これらから力、距離を測る。ドリルの電源はコントロールボックスを介して供給されており、コントロールボックスには電圧計と電流計を取り付けてある。電圧の制御には変圧計を使用した。

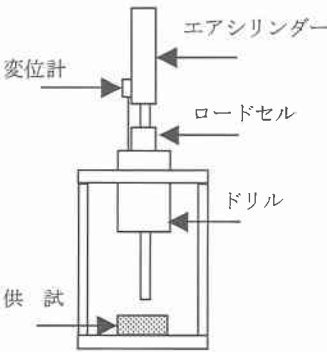


図-1 ドリル固定器具

2. 4 供試体

コンクリートの配合は表-1 に示す 4 シリーズで、それぞれ圧縮強度試験用供試体（φ10×20cm）およびドリル用供試体（15×30×15cm）を作製した。セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。

表 1 配合および強度

	%	kg/m ³				mℓ/m ³	N/mm ²
	W/C	W	C	S	G	AE 剤	f _{CB}
A	72.0	160	222.19	843	1128	97.8	31.26
B	66.3	160	241.44	814	1141	106	38.11
C	61.4	160	260.70	788	1150	115	45.81
D	57.2	160	279.95	765	1156	123	49.48

2. 5 実験条件

ドリルを固定器具にしっかり固定し、コンクリート供試体を設置、固定する。掘削は下向きに行う。力の向きが下向きであるため、これにドリルの自重が加わり、小さな力では制御が難しかった。また、大きな力で掘削を行えばドリルのモーターにかかる負担が大きくなり、連続使用ができなくなった。そこで力の制御が可能であった 70（N）と 90（N）のうちに制御が容易であった 90（N）で実験を行うこととした。ドリルの回転速度は電圧に対応して変化する。ドリルの基本電圧は 100（V）だが、力の場合と同じように回転速度が速すぎるとコンクリートの反力が大きくなりドリルがはじかれコントロールがきかない場合がある。変圧器によって電圧を調整して回転速度を変化させたところ、電圧を 60（V）とした場合に安定した回転速度がえられた。ドリルの刃先が

平面になっているため、最初コンクリートと接したときは刃がはじかれ掘削が開始できない。そこでドリルが安定して掘り進めるようになるまでの始めの 3 mm～5 mm は人力で補助する。この間はデータには人力の影響が含まれるため、測定は補助が終わるコンクリート表面 3 mm～5 mm からスタートする。測定区間は 100mm とした。4 種類の供試体それぞれに 5 回ずつ測定を行う。実験条件をまとめれば、次のようである。

- ① ドリルを押す力は 90（N）とする。
- ② ドリルの電圧は 60（V）とする。
- ③ コンクリート表面 3～5 mm は測定範囲に含めない。
- ④ 掘削深さは 100mm とする。
- ⑤ 4 種類の供試体それぞれに 5 回の測定を行う。

3. 実験結果

3. 1 力と電力

ドリルを押す力は一定であることが今回の実験条件である。図-2 に供試体 C の 2 回目の実験における力と時間の関係を示すが、力の目標値 90N に対して力の平均は 93.34N であり、比較的安定した力の制御ができた。全ての供試体に対する力の測定値の平均は 93.80N であった。

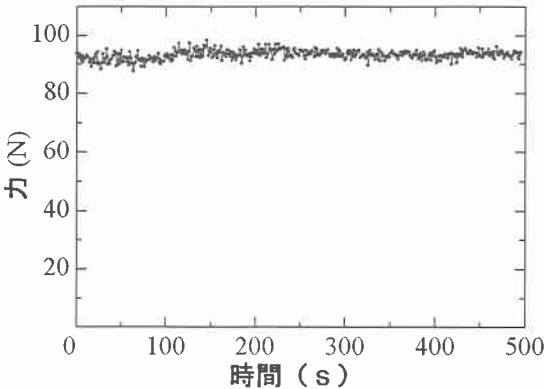


図-2 カ-時間の測定例（供試体 C）

表-2 加圧する力の平均

供試体	力の平均 (N)	全体での平均 (N)
A	93.08	93.80
B	95.67	
C	93.04	
D	93.42	

また回転速度を制御するために電圧を 60（V）にし、消費電力は一定になるようにしている。供試体 C での 2 回目の電力の測定例を（図-3）に示す。

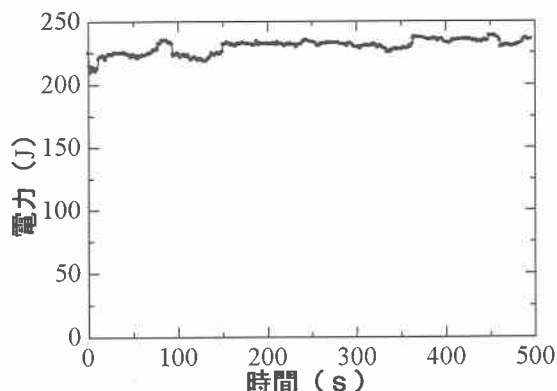


図-3 電力-時間の測定例（供試体C）

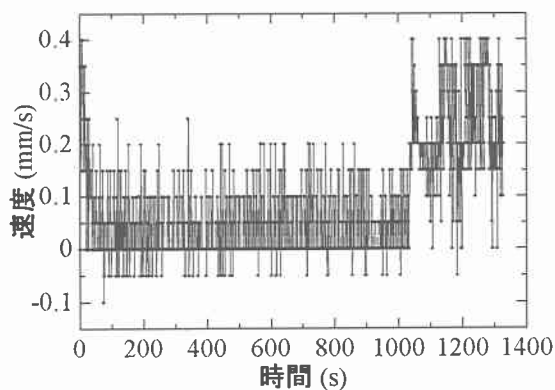


図-4 速度-時間の測定例（予備実験）

3. 3 粗骨材の影響

コンクリートをドリルで掘り進む最大の問題は骨材である。モルタル部分ではドリルの刃が砕き、粉々にして掘り進む。このときドリルに一定の力を加え、掘り続ける事は可能である。しかし、骨材では削り取るようにして掘り進むが、骨材が研磨されてしまい刃がからみにくくなってしまう事がある。こうなるとドリル先端の具合（人工ダイヤモンドが先端部にどれだけ露出しているか、先端が研磨されているかどうか）によっては滑ってしまい掘り進めない。現場では刃が滑り掘り進めなくなると軽くコツコツと刃先をたたきつける、あるいは電圧を上げ下げして回転数を変化させることでキズをつけて掘り進むきっかけをつくる。実験では力と回転数（電力）を一定に保つため、力と回転数を抑え、ゆっくりと掘り進み測定することで、ドリルが骨材で滑ることを防いでいる。それでも刃の具合によってはなかなか測定ができない。予備実験ではこうした刃が滑るために思うように測定ができなかった。そこでドリルの刃の状態を保つために、先端をブロックなどで削ることとした。こうすることで先端の鉄を削り、人工ダイヤモンドを露出させている。こうすることで骨材で滑るということは減少し、滑ったとしてもすぐにまた掘り始める。骨材とぶつかると必ずドリルは滑るわけではなく、研磨されていないものや少々の骨材であれば問題なく掘ることができる。

3. 4 測定方法

ドリルが1秒間にコンクリート内部を掘り進む距離を速度（mm/s）とする。一般にコンクリート掘削中、速度（1秒間に掘り進む距離）が大きいときはコンクリートが軟らかく、速度が小さいときはコンクリートが強いといえるだろう。しかし、測定中には速度が0、中には負になるものがありこれはコンクリート内部の研磨された骨材で刃が滑っている状態である。つまりドリルがコンクリートを掘削する仕事は0になる。先に述べたようにドリル先端の具合によって掘り進む速度は大きく変化する。次に予備実験での時間-速度のグラフ（図-4）と供試体Bの3回目での時間-速度のグラフ（図-5）を次に示す。

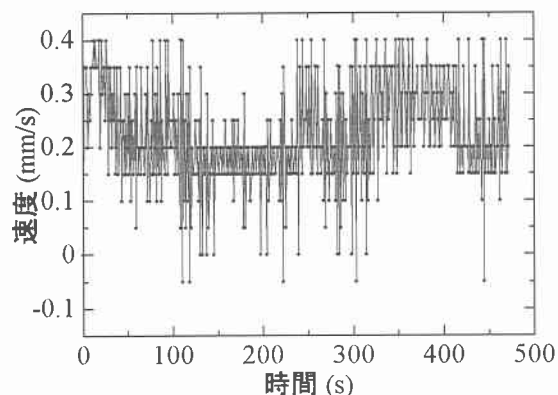


図-5 速度-時間の測定例（供試体B）

予備実験で使用した刃は連続使用したものである。1000秒をこえるまで極端に速度0以下が目立つ。ドリルはまともに仕事をしていない。この区間では骨材の影響があまりにも大きすぎるのでデータとして使えない。供試体Bで使用した刃は、汚れを取り、先端を削り刃の表面に人工ダイヤモンドを露出させ、刃の状態を保っている。その結果、速度が0以下になる部分はほとんどない。これは骨材が研磨されドリルの刃が滑ることが減ったことである。どちらの場合にしても速度が0以下になるということは、データとしては使用できない。この状態では、コンクリートについて測定しているのではなく骨材についてデータを測定している。そこで速度が0以下になる部分はデータとして扱わずに取り除く。その後、有効と思われる測定データを10秒ごとにまとめて、1セットとし、1セットごとに仕事率を計算した。このようにしてもとめられた1セットごとの仕事率の平均値が、供試体の掘削に要する仕事率の平均である。この仕事率と供試体の強度を比べていく。A~Dの供試体にそれぞれ5回測定を行った。以上一回の測定でのデータ処理方法をまとめる。

- ① 供試体を測定し、データを取る。
- ② 速度が0以下になる部分はデータから取り除く。
- ③ 残る有効なデータを10秒ごとに1セットとしてまとめる。

- ④ 1セットでの仕事率を計算する。
- ⑤ ④で求めた仕事率の平均値が一回の測定で得られる仕事率の平均とする。
- ⑥ 仕事率の平均と供試体の強度を比較する。

この手順でA～Dの供試体について、仕事率の平均と圧縮強度を比較する。

4. 考察

実験結果をまとめる。予備実験では3種類の供試体について同様の実験を試みたが、良い結果は得られなかった。これは、ドリルの刃の状態について何も手を加えていなかったことが原因である。当初、できるだけ実験では同一の状態を保とうとしたためである。またドリルの刃先の状態についての知識が乏しいためでもあった。測定中で回数を負うごとに、ドリルが能力を発揮できなくなってしまう。そこで調べた結果、ドリルの刃先を削ることでその状態を維持していく方法があり、新たに供試体A～Dの4種類で実行してみた。するとドリルは一定の能力を発揮し続けた。3. 4測定方法の節でも述べたように予備実験ではほとんどともに掘り進んではない。実際の実験ではそのことに注意して行なった。供試体A～Bの測定データで圧縮強度と仕事率を比べてみる。ちなみにドリルの刃は連続使用したとしても5～6mは一定能力で掘り続けるだけの能力がある。今回の実験ではその範囲内でしかドリルの刃は使用せず、刃先の状態を保っている限りではドリルの能力は一定であるとした。仕事率－圧縮強度のグラフ（図－6）を示す。横軸に仕事率、縦軸に圧縮強度をとり一次関数で近似式を引いた。

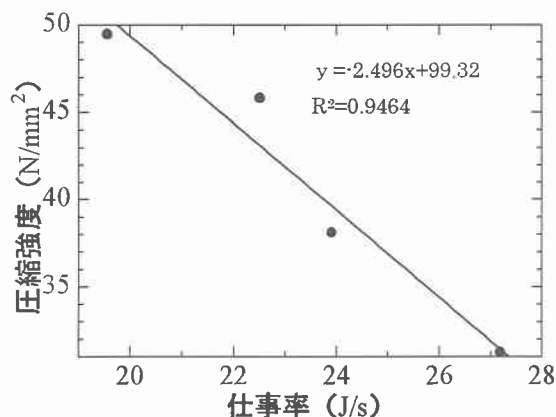


図-6 圧縮強度-仕事率

近似式 $y = -2.496x + 99.32$
 信頼係数 $R^2 = 0.9464$

信頼係数が0.9464と高い値となった。(図－6)より、圧縮強度と仕事率の間には相関が見られる。条件を一定にしてやればコンクリートの圧縮強度(N/mm²)とそれを掘削するドリルの仕事率(J/s)の間には相関があると言える。

参考文献

- 1) 小林一輔：最新コンクリート工学（第4版）、森北出版株式会社（1997）
- 2) 小林一輔 編集、魚本健人・加藤潔・広野進 共著：コンクリート構造物の非破壊検査、森北出版株式会社（1990）
- 3) 斎藤裕・三浦尚・堀宗朗・長田光正：針貫入を用いたコンクリートの凍害劣化の診断について、コンクリート年次論文報告集、Vol.14, No.1, pp.997～1002 1992
- 4) 斎藤裕・三浦尚・氏家鶴宗朗・KOOI KAM SIEW：針貫入を用いたコンクリート構造物の劣化診断について、コンクリート年次論文報告集、Vol.15, No.1, pp.655～660 1992
- 5) 山守亨・三浦尚・西丸知範：新針貫入試験機によるコンクリートの劣化度推定に関する研究、コンクリート年次論文報告集、Vol.18, No.1, pp.1251～1256 1996